



## PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11) Publication number: **07235394 A**(43) Date of publication of application: **05.09.95**

(51) Int. Cl.

**H05H 1/46**  
**H01L 21/3065**  
**// G01N 24/14**

(21) Application number: **06219824**(22) Date of filing: **14.09.94**

(30) Priority: **17.09.93 JP 05231274**  
**28.12.93 JP 05334961**

(71) Applicant: **HITACHI LTD**

(72) Inventor: **WATANABE KATSUYA**  
**KAJI TETSUNORI**  
**TAMURA NAOYUKI**  
**NAKADA KENJI**  
**SHICHIDA HIROYUKI**  
**WATANABE SEIICHI**  
**OKUDAIRA SADAYUKI**  
**SUZUKI KEIZO**

(54) **METHOD AND DEVICE FOR PRODUCING PLASMA AND METHOD AND DEVICE FOR PLASMA PROCESSING INCORPORATING THEM**

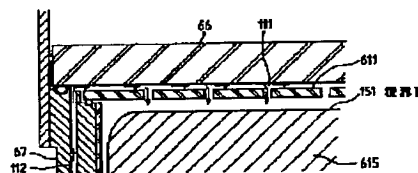
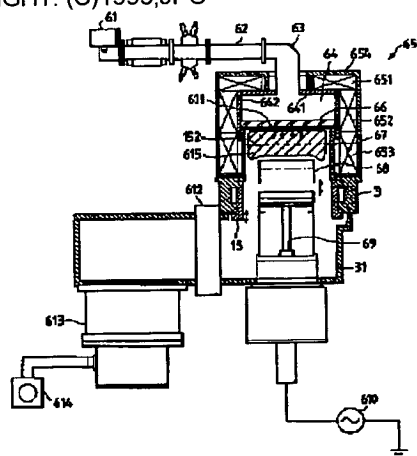
held as it is.

COPYRIGHT: (C)1995,JPO

(57) Abstract:

**PURPOSE:** To produce high-density uniform plasma which uses microwaves, by producing plasma in a discharge space having the same diameter as a cavity part, and allowing a specific mode microwave to go in resonance between the microwave reflecting boundary surface of the plasma and the cavity part reflecting end face,

**CONSTITUTION:** Microwaves generated with oscillation of a magnetron 61 are fed to a cylindrical cavity part 64 via a rectangular waveguide tube 62 and a cycle/rectangle converting waveguide tube 63. When the distance from the top plate 641 of the cavity part 64 to the plasma boundary surface 151 is integer times as large as the half of the intra-tube wavelength in a certain mode, resonance occurs, and a standing wave exists between the top plate 641 and the plasma boundary surface 151. A microwave introduced anew to the part 64 from the tube 63 is superposed on this standing wave, and the microwave in a mode having the same intra-tube wavelength of the standing wave makes resonance with the standing wave so that an intense electric field standing wave is generated. Modes which do not meet this condition will attenuate and are not allowed to exist between the top plate 641 and the surface 151. If the height of the part 64 is selected properly, therefore, the microwaves of intense electric field can be led to a vacuum vessel 66 and shower plate 611 while the mode in the part 64 is



(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平7-235394

(43) 公開日 平成7年(1995)9月5日

(51) Int.Cl.<sup>6</sup>

H 0 5 H 1/46

H 0 1 L 21/3065

// G 0 1 N 24/14

識別記号

庁内整理番号

C 9014-2G

F I

技術表示箇所

H 0 1 L 21/ 302

B

G 0 1 N 24/ 14

A

審査請求 未請求 請求項の数37 O L (全 17 頁)

(21) 出願番号 特願平6-219824

(22) 出願日 平成6年(1994)9月14日

(31) 優先権主張番号 特願平5-231274

(32) 優先日 平5(1993)9月17日

(33) 優先権主張国 日本 (J P)

(31) 優先権主張番号 特願平5-334961

(32) 優先日 平5(1993)12月28日

(33) 優先権主張国 日本 (J P)

(71) 出願人 000005108

株式会社日立製作所

東京都千代田区神田駿河台四丁目6番地

(72) 発明者 渡辺 克哉

山口県下松市大字東豊井794番地 株式会  
社日立製作所笠戸工場内

(72) 発明者 加治 哲徳

山口県下松市大字東豊井794番地 株式会  
社日立製作所笠戸工場内

(72) 発明者 田村 直行

山口県下松市大字東豊井794番地 株式会  
社日立製作所笠戸工場内

(74) 代理人 弁理士 小川 勝男

最終頁に続く

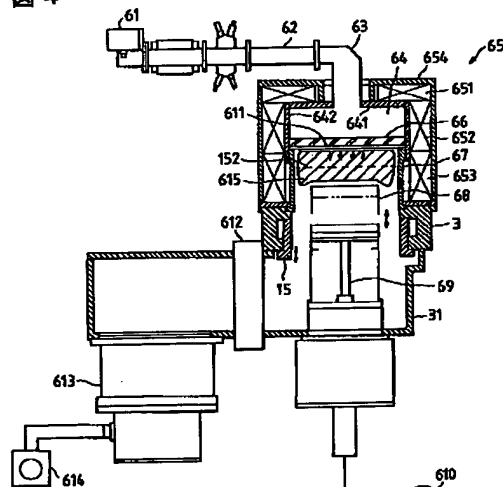
(54) 【発明の名称】 プラズマ生成方法及び装置とそれを用いたプラズマ処理方法及び装置

(57) 【要約】

【目的】 マイクロ波を用いたプラズマ生成において、安定した高密度・均一プラズマを生成する。

【構成】 プラズマ発生室と略同径のマイクロ波透過窓及び空洞部を順次プラズマ発生室に接続して設け、空洞部を介してプラズマ発生室にマイクロ波を導入し、プラズマ発生室に導入されたマイクロ波によってプラズマ発生室内のガスをプラズマ化し、プラズマ発生室に生成されるプラズマのマイクロ波反射境界面と空洞部の反射端面との間で特定モードのマイクロ波を共振させる。これにより、空洞部には特定モードのマイクロ波が形成され、共振によってエネルギー的に高められた特定モードのマイクロ波のエネルギーがプラズマに加わり、プラズマを高密度化できる。また、電界の均一性の良い特定モードのマイクロ波を共振させ、安定して均一性の良いプラズマを生成できる。

図 4



- 61…マグネトロン
- 62…導波管
- 63…円筒形共振導波管
- 64…円筒空洞部
- 65…ソレノイドコイル
- 66…マイクロ波透過窓
- 67…真空容器
- 68…試料台
- 610…高周波電源
- 611…シャワープレート
- 613…ターボ分子ポンプ
- 615…高密度プラズマ

## 【特許請求の範囲】

【請求項1】プラズマ発生部に発生させられるプラズマのマイクロ波反射境界面と、前記プラズマ発生部のマイクロ波導入側に連結した空洞部の前記プラズマ対向端面との間で、前記空洞部に伝播されたマイクロ波に定在波を生じさせ、前記マイクロ波のエネルギーをプラズマに伝達することを特徴とするプラズマ生成方法。

【請求項2】請求項1記載において、前記マイクロ波によるプラズマの発生に磁場を作用させるプラズマ生成方法。

【請求項3】空洞部を介して放電空間にマイクロ波を導入する工程と、前記放電空間に導入されたマイクロ波により前記放電空間内のガスをプラズマ化する工程と、前記プラズマのマイクロ波反射境界面と前記空洞部の反射端面との大きさを略同一にしこれらの間でマイクロ波を共振させる工程とを有することを特徴とするプラズマ生成方法。

【請求項4】プラズマ発生部に発生させられるプラズマのマイクロ波反射境界面と、前記プラズマ発生部のマイクロ波導入側に設けた空洞部のプラズマ対向端面との間で、前記空洞部に伝播されたマイクロ波を特定モードのマイクロ波とし反射を繰り返させ、前記特定モードのマイクロ波をそのままプラズマに伝達することを特徴とするプラズマ生成方法。

【請求項5】空洞部を介して放電空間にマイクロ波を導入する工程と、前記放電空間に導入されたマイクロ波により前記放電空間内のガスをプラズマ化する工程と、前記プラズマのマイクロ波反射境界面と前記空洞部の反射端面との大きさを略同一にしこれらの間で特定モードのマイクロ波を伝播させる工程とを有することを特徴とするプラズマ発生方法。

【請求項6】請求項5記載において、前記特定モードのマイクロ波が $TE_{11}$ および $TE_{01}$ モードであるプラズマ生成方法。

【請求項7】空洞部を介して放電空間にマイクロ波を導入する工程と、前記放電空間に導入された前記マイクロ波により前記放電空間内のガスをプラズマ化する工程と、前記空洞部と略同径の前記放電空間内に生成される前記プラズマのマイクロ波反射境界面と前記空洞部の反射端面との間で特定モードのマイクロ波を共振させる工程とを有することを特徴とするプラズマ生成方法。

【請求項8】請求項7記載において、前記マイクロ波によるプラズマの発生に磁場を作用させるプラズマ生成方法。

【請求項9】請求項7記載において、前記放電空間と前記空洞部とを仕切るマイクロ波透過部材部からプラズマ発生用のガスを供給し、前記マイクロ波によるプラズマの発生に磁場を作用させ電子サイクロトロン共鳴を生じさせ、前記電子サイクロトロン共鳴によるECR面と前記マイクロ波透過部材との間で前記ガスを分散させるプ

ラズマ生成方法。

【請求項10】請求項7記載の前記特定モードのマイクロ波が $TE_{11}$ および $TE_{01}$ モードであるプラズマ生成方法。

【請求項11】マイクロ波の導波管が接続された空洞部の導入側端面の略全面に対向して、前記空洞部と略同径で前記端面に平行に設けたマイクロ波導入窓を介して前記空洞部と略同径のプラズマ発生空間を形成したことを特徴とするプラズマ生成装置。

10 【請求項12】マイクロ波が導入されるプラズマ発生部のマイクロ波導入側に、プラズマのマイクロ波反射境界面から反射したマイクロ波が特定モードのマイクロ波となり反射が繰り返される反射空間を形成する空洞部を設けたことを特徴とするプラズマ生成装置。

【請求項13】請求項12記載において、特定モードのマイクロ波が $TE_{11}$ および $TE_{01}$ モードであるプラズマ生成装置。

20 【請求項14】マイクロ波が導入されるプラズマ発生部のマイクロ波導入側に、プラズマのマイクロ波反射境界面から反射したマイクロ波が定在波となる前記マイクロ波の反射空間を形成する空洞部を連結したことを特徴とするプラズマの生成装置。

【請求項15】請求項14記載において、前記プラズマ発生部及び前記空洞部周囲にソレノイドコイルを設けたプラズマ生成装置。

30 【請求項16】プラズマ発生室のマイクロ波導入部に前記プラズマ発生室の内径と略同径のマイクロ波透過窓を設け、前記プラズマ発生室の内径と略同径であって前記プラズマ発生室内に生成されるプラズマのマイクロ波反射境界面との間で特定モードのマイクロ波を共振させる空洞部を前記マイクロ波透過窓を介して前記プラズマ発生室に隣接したことを特徴とするプラズマ生成装置。

【請求項17】請求項16記載において、前記プラズマ発生部及び前記空洞部周囲にソレノイドコイルを設けたプラズマ生成装置。

40 【請求項18】請求項16記載において、前記マイクロ波導入部からプラズマ発生用ガスを供給し、前記マイクロ波と前記ソレノイドコイルによる磁場とにより電子サイクロトロン共鳴を生じさせ、前記電子サイクロトロン共鳴によるECR面と前記マイクロ波透過窓との距離を50mm以上としたプラズマ生成装置。

【請求項19】請求項16記載において、特定モードのマイクロ波が $TE_{11}$ および $TE_{01}$ モードであるプラズマ生成装置。

50 【請求項20】プラズマ発生室内に処理ガスを供給するとともに所定圧力に減圧排気する工程と、発振されたマイクロ波を円筒空洞部に導く工程と、前記円筒空洞部内を伝播する前記マイクロ波をそのまま前記プラズマ発生室に導入する工程と、前記プラズマ発生室に導入された前記マイクロ波により前記プラズマ発生室内の処理ガス

をプラズマ化する工程と、前記プラズマ発生室内に生成されたプラズマと前記プラズマ発生室に対向する前記円筒空洞部の他端面との間で、前記プラズマに吸収されなかった前記マイクロ波を特定モードで共振させる工程と、前記プラズマ発生室内のプラズマによって試料を処理する工程とを有することを特徴とするプラズマ処理方法。

【請求項 2 1】請求項 2 0 記載において、前記円筒空洞部でのマイクロ波を前記プラズマ発生室に略全面的に透過させるプラズマ処理方法。

【請求項 2 2】請求項 2 0 記載において、前記プラズマはマイクロ波と磁界とによる E C R 作用を利用するプラズマ処理方法。

【請求項 2 3】請求項 2 0 記載において、前記 E C R の面を前記試料の材質に合わせ相対的に任意の位置に調整するプラズマ処理方法。

【請求項 2 4】空洞部を介してマイクロ波導入部からのマイクロ波を真空容器の放電領域に伝播させ前記真空容器内の被処理物をプラズマ処理する方法において、前記マイクロ波導入部に特定モードのマイクロ波を伝播させ、前記マイクロ波が前記マイクロ波透過部材及び前記放電領域の境界面と前記空洞部のマイクロ波導入側端面との間で反射を繰り返し第 1 の特定モードの定在波を形成させ、前記マイクロ波導入部を伝播して来た第 2 の特定モードのマイクロ波と混在させて前記放電領域に導入し、前記真空容器内に放電を生じさせることを特徴とするプラズマ処理方法。

【請求項 2 5】請求項 2 4 記載において、前記マイクロ波導入部に伝播させる前記特定モードを  $TE_{11}$  モードとし、前記定在波を形成させる第 1 の特定モードを  $TE_{01}$  モードとし、前記マイクロ波導入部を伝播して来る第 2 の特定モードを  $TE_{11}$  モードとするプラズマ処理方法。

【請求項 2 6】一端にマイクロ波発振器を有し前記マイクロ波発振器から発振されるマイクロ波を伝播させる導波管と、前記導波管の他端に拡大された一端面を連結した円筒空洞部と、前記円筒空洞部の他端開口部に連結された前記円筒空洞部と略同径の円筒状プラズマ発生室と、前記円筒空洞部と前記プラズマ発生室との連結部に設けられた前記円筒空洞部および前記プラズマ発生室と略同径の平板状のマイクロ波透過窓と、前記マイクロ波透過窓に対向して前記プラズマ発生室内に設けられた試料台と、前記プラズマ発生室内に向けて前記マイクロ波透過窓近傍に処理ガスを供給する処理ガス供給手段と、前記プラズマ発生室内を減圧排気する真空排気手段とを具備したことを特徴とするプラズマ処理装置。

【請求項 2 7】請求項 2 6 記載において、前記プラズマ発生室内に E C R 作用を生じさせる磁界を形成するソレノイドコイルを有し、前記ソレノイドコイルの内径もしくは前記ソレノイドコイルの外側に設けたヨークの内径を、前記マイクロ波透過窓の径よりも小さくしたプラズ

マ処理装置。

【請求項 2 8】請求項 2 7 記載において、前記マイクロ波透過窓と前記 E C R の面との距離を 50 mm 以上としたプラズマ処理装置。

【請求項 2 9】請求項 2 7 記載において、前記 E C R の面と前記試料台との距離を 30 mm 以上としたプラズマ処理装置。

【請求項 3 0】請求項 2 7 記載において、前記 E C R の面における磁場勾配の値を  $20 \text{ G/cm}$  以上、 $50 \text{ G/cm}$  以下の範囲内に設定したプラズマ処理装置。

【請求項 3 1】請求項 2 6 記載において、前記プラズマ発生室内へのプロセスガスの吹き出し口を前記マイクロ波透過窓の近傍で前記試料台と平行に分散して設置したプラズマ処理装置。

【請求項 3 2】請求項 2 6 記載において、前記試料台は前記プラズマ発生室と同心状に配置され、該中心軸状の任意の位置に調整可能としたプラズマ処理装置。

【請求項 3 3】マイクロ波を装置内に導入するマイクロ波導入部と、前記マイクロ波導入部に続き前記マイクロ波を伝搬させる空洞部と、前記空洞部につながり放電領域を形成する真空容器と、前記空洞部と前記真空容器との間に設けられ前記真空容器の一部を形成し前記マイクロ波のエネルギーを前記真空容器内に略全面で透過させるマイクロ波透過部材とから構成し、前記マイクロ波透過部材の有効透過部直径と前記真空容器の内径とは略同径で、該径を被処理材の直径の 1.75 倍以上とし、前記マイクロ波が前記マイクロ波透過部材及び前記放電領域の境界面と前記空洞部のマイクロ波導入側端面との間で反射を繰り返し  $TE_{01}$  モードとなる定在波を形成させ、前記マイクロ波導入部を伝播して来た  $TE_{11}$  モードと混在させて前記放電領域に導入するよう構成したことを特徴とするプラズマ処理装置。

【請求項 3 4】8 インチ以上の大口径ウエハが配置できる内径を有しマイクロ波が伝播可能な導電性の材料でなる円筒容器内を円板状のマイクロ波透過部材で仕切り、前記円筒容器内の一方を減圧雰囲気とし、前記円筒容器内の他方にマイクロ波導波管を接続し、前記マイクロ波透過部材の前記減圧雰囲気側の面を、前記マイクロ波導波管を接続した前記円筒容器端面からマイクロ波の管内波長の  $n/2$  倍の距離以内の該距離近傍に位置させたことを特徴とするプラズマ処理装置。

【請求項 3 5】請求項 3 4 において、前記円筒容器の内径が 350 mm 以上で、前記マイクロ波導波管が円形  $TE_{11}$  モードのマイクロ波を伝播するプラズマ処理装置。

【請求項 3 6】請求項 3 5 において、前記マイクロ波導波管及び前記円筒容器外周に磁場処理手段を設けたプラズマ処理装置。

【請求項 3 7】請求項 3 6 において、前記円筒容器の減圧雰囲気側は前記マイクロ波透過部材の取り付け代分だけ前記マイクロ波透過部材よりも内径が小さいプラズマ

処理装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【産業上の利用分野】本発明はプラズマ生成方法及び装置とそれを用いたプラズマ処理方法及び装置に係り、特にマイクロ波を用いたプラズマの生成及び該プラズマによって半導体素子等の試料を処理するのに好適なプラズマ生成方法及び装置とそれを用いたプラズマ処理方法及び装置に関するものである。

【0002】

【従来の技術】従来、マイクロ波を用いてプラズマを生成し、そして該プラズマを利用して試料を処理する技術としては、例えば、金井他著「マイクロ波プラズマエッチング装置」、日立評論 Vol. 73 No. 9, p. 23~28, (1991) に記載のものが知られている。図17にその装置を示す。本装置は、マイクロ波を伝播する導波管22内に石英製の半球状の放電管である石英ベルジャ24を設置し、ソレノイドコイル23の外部磁場とマグネトロン21からのマイクロ波の電界との相互作用により石英ベルジャ24内でプラズマを生成させ、該プラズマを利用して処理室内の試料台26に搭載された被処理物であるウエハ5の処理を行うようになっている。ここで、27は、試料台26に接続された高周波電源であり、エッチング処理時に試料台26にRFバイアス電圧を印加する。28は石英ベルジャ24内に導入するエッチングガスを示し、29は処理室内からの排気を示す。

【0003】また、他のマイクロ波プラズマエッチング装置として、例えば、特開平4-167424号公報に記載のものが知られている。本装置は、プラズマ反応室に隣接して円筒空洞共振器を設け、円筒空洞共振器へマイクロ波を導入し、円筒空洞共振器内にマイクロ波の特定モードの共振を生じさせて、特定モードの高エネルギー密度のマイクロ波の一部をプラズマ反応室内径と同径の石英等で成る平板状のマイクロ波放射窓からプラズマ反応室へ導入し、プラズマ反応室内に磁場とマイクロ波電界とを作用させてプラズマを発生させ、該プラズマを利用して試料を処理するようになっている。

【0004】

【発明が解決しようとする課題】プラズマを利用した半導体製造プロセスにおいては、試料台に搭載された試料に対して電氣的ダメージを与えることなく、均一に処理することが必要である。これに対し、前述の従来技術は、将来の大口径微細化に対応したプラズマ性能、すなわち、高密度均一プラズマを得るにはまだ充分なものでなかった。

【0005】前者従来技術のマイクロ波プラズマエッチング装置は、マイクロ波透過部材として半球状の石英ベルジャを導波管内に設置し、石英ベルジャ内にプラズマを発生させる構造となっている。そのため、導波管内を

伝播してきたマイクロ波は石英ベルジャの影響を受けやすくなり、特に大径の導波管内では複数のモードのマイクロ波が存在しえ、マイクロ波が半球状の石英ベルジャ及び石英ベルジャ内部に生成されるプラズマによって導波管内で複雑な反射と屈折を繰り返して石英ベルジャ内部のプラズマに吸収される。その結果、試料直径8インチ以上の大口径対応の装置とした場合、マイクロ波は導波管内でさまざまなモードに励起され、生成されるプラズマの状態が一定せず、マイクロ波は時間的に複数のモード間で遷移し、プラズマ状態が時間的に変化する。このようなプラズマ状態の変化に伴ってプラズマのインピーダンスが変わり、プラズマへの効率的なマイクロ波エネルギーの伝達ができず高密度のプラズマ生成が難しくなる。また、大口径試料に対応した広い範囲での均一なプラズマの生成が難しくなる。

【0006】このような問題を解決するものとして従来技術後者のものがある。後者従来技術のマイクロ波プラズマエッチング装置は、マイクロ波透過部材として、円筒空洞共振器の一部とプラズマ反応室との間にプラズマ反応室内径と同径の平板状のマイクロ波放射窓を設け、プラズマ反応室内にプラズマを生成させる構造となっている。これにより、円筒空洞共振器によって得られた安定な特定モードの高エネルギー密度のマイクロ波の一部がマイクロ波放射窓を通してプラズマ反応室へ導入されるので、プラズマ反応室内で高密度で均一なプラズマが得られるとしている。しかしながら、本装置では、プラズマ反応室内へ導かれるマイクロ波は円筒空洞共振器内で共振させたマイクロ波の一部であるため、円筒空洞共振器内部でのマイクロ波エネルギーのロスは避けられず、マイクロ波エネルギーの伝達効率が低下し、より高密度のプラズマを得ることが困難である。また、試料直径8インチ以上の大口径化に対応する場合は、さらに円筒空洞共振器が大きくなり装置が大型化するという問題がある。

【0007】本発明の第1の目的は、マイクロ波を用いた高密度均一プラズマを生成することのできるプラズマ生成方法及び装置を提供することにある。

【0008】本発明の第2の目的は、マイクロ波を用いた高密度プラズマを生成することのできるプラズマ生成方法及び装置を提供することにある。

【0009】本発明の第3の目的は、マイクロ波を用いた安定な均一プラズマを生成することのできるプラズマ生成方法及び装置を提供することにある。

【0010】本発明の第4の目的は、試料直径8インチ以上の大口径化に対応し、試料の処理速度及び均一処理の向上を図ることのできるプラズマ処理方法及び装置を提供することにある。

【0011】

【課題を解決するための手段】上記第1の目的は、プラズマ発生室のマイクロ波導入部にプラズマ発生室の内径と略同径のマイクロ波透過窓を設け、プラズマ発生室の

内径と略同径であってプラズマ発生室内に生成されるプラズマのマイクロ波反射境界面との間で特定モードのマイクロ波を共振させる空洞部をマイクロ波透過窓を介してプラズマ発生室に隣接した装置とし、空洞部を介して放電空間にマイクロ波を導入する工程と、放電空間に導入されたマイクロ波により放電空間内のガスをプラズマ化する工程と、空洞部と略同径の放電空間内に生成されるプラズマのマイクロ波反射境界面と空洞部の反射端面との間で特定モードのマイクロ波を共振させる工程とを有する方法とすることにより、達成される。

【0012】上記第2の目的は、マイクロ波が導入されるプラズマ発生部のマイクロ波導入側に、プラズマのマイクロ波反射境界面から反射したマイクロ波が定在波となるマイクロ波の反射空間を形成する空洞部を連結した装置とし、プラズマ発生部に発生させられるプラズマのマイクロ波反射境界面と、プラズマ発生部のマイクロ波導入側に連結した空洞部のプラズマ対向端面との間で、空洞部に伝播されたマイクロ波に定在波を生じさせ、マイクロ波のエネルギーをプラズマに伝達する方法とすることにより、達成される。

【0013】上記第3の目的は、マイクロ波が導入されるプラズマ発生部のマイクロ波導入側に、プラズマのマイクロ波反射境界面から反射したマイクロ波が特定モードのマイクロ波となり反射が繰り返される反射空間を形成する空洞部を設けた装置とし、プラズマ発生部に発生させられるプラズマのマイクロ波反射境界面と、プラズマ発生部のマイクロ波導入側に設けた空洞部のプラズマ対向端面との間で、空洞部に伝播されたマイクロ波を特定モードのマイクロ波とし反射を繰り返させ、特定モードのマイクロ波をそのままプラズマに伝達する方法とすることにより、達成される。

【0014】上記第4の目的は、一端にマイクロ波発振器を有し該マイクロ波発振器から発振されるマイクロ波を伝播させる導波管と、導波管の他端に拡大された一端面を連結した円筒空洞部と、円筒空洞部の他端開口部に連結された円筒空洞部と略同径の円筒状プラズマ発生室と、円筒空洞部とプラズマ発生室との連結部に設けられた円筒空洞部およびプラズマ発生室と略同径の平板状のマイクロ波透過窓と、マイクロ波透過窓に対向してプラズマ発生室内に設けられた試料台と、プラズマ発生室内部に向けてマイクロ波透過窓近傍に処理ガスを供給する処理ガス供給手段と、プラズマ発生室内を減圧排気する真空排気手段とを具備した装置とし、プラズマ発生室内に処理ガスを供給するとともに所定圧力に減圧排気する工程と、発振されたマイクロ波を円筒空洞部に導く工程と、円筒空洞部内を伝播するマイクロ波をそのままプラズマ発生室に導入する工程と、プラズマ発生室に導入されたマイクロ波によりプラズマ発生室内の処理ガスをプラズマ化する工程と、プラズマ発生室内に生成されたプラズマとプラズマ発生室に対向する円筒空洞部の他端面

との間でプラズマに吸収されなかったマイクロ波を特定モードで共振させる工程と、プラズマ発生室内のプラズマによって試料を処理する工程とを有する方法とすることにより、達成される。

#### 【0015】

【作用】空洞部を介してプラズマ発生室内に導入されたマイクロ波によってプラズマ発生室内にプラズマが生成される。プラズマの生成に伴ってプラズマに吸収されなかった空洞部からのマイクロ波がプラズマのマイクロ波反射境界面で反射される。反射されたマイクロ波が空洞部の反射端面でさらに反射され、プラズマのマイクロ波反射境界面と空洞部の反射端面との間で定在波として反射が繰り返されると共に新たに入射されるマイクロ波と重なって共振状態になる。これにより、空洞部には特定モードのマイクロ波が形成され、プラズマに特定モードのマイクロ波の高いエネルギーが加わりプラズマが高密度化される。また、空洞部と放電空間とを略同径としてあるので空洞部とプラズマとの略等価な全反射面でマイクロ波が共振させられ、特定モードのマイクロ波をそのままプラズマに伝達させることができるので、電界の均一性の良い特定なモードのマイクロ波を共振させることにより、安定して均一性の良いプラズマが生成される。

【0016】また、円筒空洞部からプラズマ発生室内に導入されたマイクロ波によってプラズマ発生室内の処理ガスがプラズマ化される。この際、円筒空洞部とマイクロ波透過窓と円筒状プラズマ発生室とを略同径としているので、プラズマの生成に伴ってプラズマに吸収されなかった円筒空洞部からのマイクロ波はプラズマのマイクロ波反射境界面で反射され、反射されたマイクロ波が円筒空洞部の他端面でさらに反射され、プラズマのマイクロ波反射境界面と円筒空洞部の他端面との間でマイクロ波は特定モードの定在波となって反射が繰り返され、新たに入射されるマイクロ波と重なって共振状態になる。これにより、円筒空洞部には特定モードのマイクロ波が形成され、プラズマに特定モードのマイクロ波の高いエネルギーが伝達されプラズマが高密度化される。さらに、プラズマが高密度化されることにより、プラズマ中のイオンや反応種が多くなり、試料の処理速度が向上する。また、円筒空洞部とプラズマ発生室とを略同径に構成したので、共振させられた特定モードのマイクロ波のエネルギーをモードの形状に合わせそのままのプラズマに伝達させることができるので、安定した均一性の良いプラズマが生成され、試料の均一処理が向上する。

#### 【0017】

【実施例】以下、本発明の一実施例を図1から図6により説明する。真空処理装置は、一体化された架台16と、架台16に取り付けられる矩形の真空処理部1およびローダー2とからなっている。ローダー2は、カセット12を配置可能なテーブルと、ウェハオリエンテーションプラットフォーム11と、大気搬送ロボット9を有す

る。真空処理部1は、バッファ室3と、ロードロック室4と、アンロードロック室5と、処理室6と、後処理室7と、真空搬送ロボット10を有する。

【0018】大気搬送ロボット9は、伸縮アーム91を有すると共に上下左右方向に移動可能で、カセット12内のウェハ8を1枚毎に搬出または収納し、ローダー2のカセット12からウェハオリエンテーションフラット合せ11、ウェハオリエンテーションフラット合せ11からロードロック室4までウェハ8を搬送すると共に、アンロードロック室5とカセット12との間でウェハ8を搬送する。

【0019】真空搬送ロボット10は、伸縮アーム101を有し、ロードロック室4から処理室6までウェハ8を搬送すると共に、処理室6、後処理室7、アンロードロック室5間でウェハ8を搬送する。また、真空搬送ロボット10は、伸縮アーム101の巡回軌跡がロードロック室4と処理室6を結ぶと共に、処理室6、アンロードロック室5並びに後処理室7を含む軌跡になるようにして設けられている。

【0020】ローダー2に設けられるウェハ用のカセット12は、製品ウェハ用カセット12A、12B及びダミーカセット12Cからなっている。各カセット12の周囲にはウェハサーチ機構121(A、B、C)、122(A、B、C)が設けてあり、カセット12がセットされたときに、ウェハサーチ機構121が各カセット内の試料を認識する。

【0021】各ロードロック室4、5と処理室6と後処理室7には、ウェハ押し上げ機構14A、14Bがそれぞれ設けられており、それぞれ各ロボットの伸縮アーム91、101にウェハ8を受渡しできる構成となっている。処理室6のウェハ押し上げ機構14Bは、電極を兼ねたウェハ配置用の試料台の内部に組み込まれている。15はバッファ室3内を仕切り処理室6を形成するリングゲートである。13はエッチング用の放電手段、14は後処理(アッシング)用の放電手段である。32は覗き窓である。

【0022】処理室6は、ウェハ8を1個ずつプラズマ処理、例えば、プラズマエッチング処理する室であって、真空処理部1の図示左下部に設けられている。ロードロック室4とアンロードロック室5とは、真空搬送ロボット10を挟んで処理室6の反対側、すなわち真空処理部1の図示右辺部分にそれぞれ設けられている。後処理室7は、エッチング処理済みのウェハ8を1個ずつ後処理する室であって、アンロードロック室5と対応して真空処理部1の中間部分に設けられている。

【0023】図3に示すように、バッファ室3は、単一の構造物100の厚さ方向に開口部を設け、ロードロック室4、アンロードロック室5、処理室6、後処理室7及び真空搬送ロボット10の取り付けスペースを形成してあると共に、真空搬送ロボット10が取り付けられる

スペースである開口部を中心に、それぞれの開口部を連結するように単一の構造物100の内部をくりぬいて試料搬送用の通路102を形成してある。これにより、各室相互の位置関係が正確に位置決めされるので、精度の高い真空処理装置を得ることができる。さらに、真空処理部1とローダー2も一体の架台16に取り付けてあるのでさらに精度の高い真空処理装置を提供することができる。

【0024】なお、103は第二の処理室の増設に備えた試料搬送用の通路であり、第二の処理室35は二点鎖線で示したようにバッファ室3の側壁に連結して配置される。通常、この通路103は真空処理部1の内部点検等に利用することができる。すなわち、真空処理部1の一方の側端近くに、処理室6、真空搬送ロボット10、ロードロック室4が配置してあるので、作業者は無理な姿勢をとらなくても真空搬送ロボット10の点検修理ができ、また、真空搬送ロボット10の空間を介した各室の簡単な点検修理ができメンテナンスを容易に行なうことができる。

【0025】次に、上記のように配置した真空処理装置におけるウェハ処理操作について説明する。まず、大気搬送ロボット9を所望のカセット12の前へ移動させ、伸縮アーム91をローダーのカセット12側に向かって動作させ、伸縮アーム91のフォークをカセット内のウェハ8の下方に挿入し、大気搬送ロボット9を少し上昇させフォーク上にウェハ8を移載する。次に、大気搬送ロボット9をオリエンテーションフラット合わせ11の前へ移動させ、伸縮アーム91をオリエンテーションフラット合わせ11上まで移動し、大気搬送ロボット9を少し下降させオリエンテーションフラット合わせ11にウェハ8を移載する。ウェハ8のオリエンテーションフラット合わせの間、伸縮アーム91は退避位置に戻る。ウェハ8のオリエンテーションフラット合わせが終わると、大気搬送ロボット9の逆動作により再びウェハ8を大気搬送ロボット9のフォーク上に移載する。そして、ウェハ押し上げ機構14によって支持部材34をロードロック室4の下面に気密に当接させてロードロック室を形成させ、ロードロック室4のゲートバルブ33を開いた状態で大気搬送ロボット9の伸縮アーム91をロードロック室4内に移動し、ウェハ8を搬入する。その後、大気搬送ロボット9を少し下降させてウェハ8を支持部材34上に移載する。そして、伸縮アーム91を退避させ、ゲートバルブ33を閉じロードロック室4を真空排気した後、ウェハ押し上げ機構14を動作させて支持部材34を下降させる。そして、真空搬送ロボット10の伸縮アーム101を支持部材34上のウェハ8下部に移動させ、ウェハ押し上げ機構14を動作させて支持部材34を少し下降させて伸縮アーム101のフォーク上にウェハ8を受渡す。真空搬送ロボット10は伸縮アーム101を移動させて、バッファ室1内の通路102を

介して真空中を処理室6までウェハ8を搬送する。また、この逆の動作によりウェハ8をローダ2のアンロード側カセット位置まで搬送する。なお、後処理が必要な場合は、真空搬送ロボット10の伸縮アーム101により後処理室7を経由して搬送する。後処理室7では、エッチング処理済みの試料8に対してプラズマ後処理が実施される。

【0026】真空搬送ロボット10のアーム101の軌跡は、例えば、ロードロック室4、処理室6及び後処理室7にウェハ8があつて、アンロードロック室5にはウェハがない状態を考えると次のようになる。すなわち、真空搬送ロボット10の伸縮アーム101は、まず、後処理室7のウェハ8をアンロードロック室5に移し、次に、処理室6のウェハ8を後処理室7に移動させ、次に、ロードロック室4のウェハ8を処理室6に搬送する。伸縮アーム101は、以下、同様の軌跡を繰り返す。また、図3に示したように、ロードロック室4(中心O<sub>1</sub>)と、アンロードロック室5(中心O<sub>2</sub>)との中間位置Cと処理室6の中心O<sub>3</sub>とを結ぶ線XXの左右いずれか一方に、すなわち真空処理部1の側端側にずらして、真空搬送ロボット10のアームの巡回中心O<sub>4</sub>を配置してある。また、線分XXの反対側に後処理室7(中心O<sub>5</sub>)を配置してある。このような構成によれば、真空搬送ロボット10のアームの巡回範囲θ(図3参照)は、円一周の約半分、実施例では190度、となる。ウェハを搬送する真空搬送ロボット10のアームの巡回範囲を略半円内とすることにより、一周の略半分内の円運動で、ロードロック室4、アンロードロック室5、処理室6、後処理室7に、一枚のウェハ8をそれぞれ搬送可能である。このように、真空搬送ロボット10のアームの巡回範囲を略半円内としているので、真空搬送ロボット10のアームの巡回範囲が狭く、タクトタイムが短縮される。

【0027】なお、前述した構成において、処理室6の外径は、他の室すなわち、ロードロック室4、アンロードロック室5及び後処理室7の外径よりも大きい。この処理室6を真空処理部1の一端側に寄せて配置し、他の室及び真空搬送ロボット10は二つずつ並列配置することにより、所定のスペース以内に真空搬送ロボット10と共に上記各室を適切に配置できる。

【0028】また、処理室が、有磁場マイクロ波発生装置を具備しているタイプの処理室である場合、有磁場マイクロ波発生装置を付加する分だけ外形が大きくなるが、上記配置によれば、このような大きな処理室を用いる場合でも、他の室及び真空搬送ロボットを二つずつ並列配置しているため、これらの各室を適切に配置し、真空処理部1をコンパクトにまとめることができる。

【0029】次に、真空処理装置の処理室6部に配置されるプラズマ処理装置を説明する。図4はプラズマ処理装置の一実施例を示す。図5は図4におけるガス導入部

の詳細であり、図6は図4におけるプラズマ生成部分を拡大した図である。本実施例はプラズマを生成する手段としてマイクロ波と磁界を利用した例である。61はマイクロ波を発生するマグネトロン、62はマイクロ波を伝播する矩形の導波管、63は円筒形変換導波管、64は円筒空洞部、641は円筒空洞部64の天板、65は磁場を発生するソレノイドコイル、66はマイクロ波透過窓(例えば石英平板)、67は真空容器、68は試料であるウェハを配置する試料台、69は試料台を上下に移動させる駆動機構、610はプラズマ処理、例えば、エッチング時に試料台に高周波バイアス電圧を印加するための高周波電源、611は処理ガス、例えば、エッチングガスを真空容器67に導入するためのシャワープレート、111はシャワープレート611に設けられたガス吹き出し口、112はガス導入経路、612は真空容器67内の圧力の調整を行うバリアブルバルブ、613は真空容器67を真空に減圧するためのターボ分子ポンプ、614は粗引用の真空ポンプである。

【0030】バッファ室3の下部には下部容器31が取り付けられている。下部容器31にはバッファ室3の開口に対応して試料台68が設けられている。下部容器31は途中にバリアブルバルブ612を有し、下部容器31の端部にはターボ分子ポンプ613が設けられている。ターボ分子ポンプ613には粗引用の真空ポンプ614が連結されている。

【0031】試料台68には駆動機構69が設けられ、試料台上部が上下動可能となっている。試料台68には高周波電源610が接続され、試料台68に高周波バイアス電圧を印加可能になっている。

【0032】バッファ室3の上部には、円筒状の真空容器67が取り付けられ、真空容器67の上部開口部には平板状のマイクロ波透過窓66が気密に取り付けられ、真空容器67とマイクロ波透過窓66とによってプラズマ発生室が形成される。マイクロ波透過窓66の上部には、真空容器67と略同径に構成された円筒壁642が真空容器67と電氣的に接続されて設けられ、円筒壁642の上部開口部には中央に円形の開口部を有する天板641が円筒壁642と電氣的に接続されて設けられ、マイクロ波透過窓66と円筒壁642と天板641とで囲まれた円筒空洞部64が設けられる。天板641の中央の円形開口部には円筒形変換導波管63が電氣的に接続されて設けられ、円筒形変換導波管63に続いて導波管62およびマグネトロン61が順次電氣的に接続されて設けられる。

【0033】バッファ室3には、バッファ室3内の試料搬送空間である通路102と処理室6とを仕切る円筒状の仕切り弁であるリングゲート15が設けられている。リングゲート15は、真空容器67の内径と同径もしくは略同径に形成され、バッファ室3の下方から組み込まれ、リングゲート15の中心軸に対称に配置した2つの



エアシリンダ36によって上下方向に駆動される。

【0034】円筒空洞部64および真空容器67の外周部にはソレノイドコイル65が設けてある。ソレノイドコイル65は、円筒空洞部64および真空容器67の外周部に巻装したソレノイドコイル652および653と、円筒空洞部64の天板641上部に配置した内径が小さく円周方向に巻数を多くしたソレノイドコイル651とから成る。ソレノイドコイル651は主磁束用として用いられ、ソレノイドコイル652および653は磁力線の制御用として用いられる。さらに、ソレノイドコイル651、652および653の外周には、これらソレノイドコイルを囲んでヨーク654が設けてある。ヨーク654のソレノイドコイル651に対応した内側上端部は円筒空洞部64および真空容器67の軸心と同心で、円筒空洞部64に向けて下方に曲げて形成されている。

【0035】マイクロ波透過窓66の下面には、図5に示すようにガス吹き出し口111を多数有するシャワープレート611がマイクロ波透過窓66との間にわずかな隙間を有して設けてあり、マイクロ波透過窓66とシャワープレート611との隙間にはガス導入経路112が接続されている。

【0036】真空容器67の内面側には、図6に示すように、真空容器67からの金属汚染をさけるために石英、セラミックなどの耐プラズマ性の材料で形成された円筒状の絶縁物カバー671を設置してある。また、真空容器67の内側には電極である試料台68近傍に接地電位の部材であるアース電極672を配置する。アース電極672は、接地電位となっているバッファ室3に電氣的に接続され、真空容器67の内側に向けて真空容器67との間に溝部を設けて取り付けられている。絶縁物カバー671は、この場合、真空容器67の内壁面とアース電極672とにより形成された溝部に落とし込まれて保持される。絶縁物カバー672は強度的およびメンテナンス周期を考慮し、例えば、5mm以上の厚さを有するようにしてある。アース電極672は、絶縁物カバー672によって電氣的に絶縁された真空容器67とプラズマ615との電気導通性を取る働きをする。

【0037】また、金属汚染を避けるための方法としては、この他に、耐プラズマ性のある絶縁体（例えば石英、 $Al_2F_3$ 、ムライト、 $Cr_2O_3$ 等）や半導体（SiC等）で真空容器67内面を被っても良い。なお、試料台68に高周波バイアス電力を印加し、処理する場合には、上記耐プラズマ性のある絶縁物の厚みは1mm以下にし、アース効果を得られやすくするのが好ましい。

【0038】上述のように構成された装置において、真空容器67内にプラズマを発生させるには、まず、真空容器67の内部はターボ分子ポンプ613と真空ポンプ614によって減圧される。試料を処理する場合、プロセスガスをガス導入経路112からマイクロ波透過窓6

6とシャワープレート611の間に導入し、シャワープレート611に設けられたガス吹き出し口111から真空容器67に導く。真空容器67の内部圧力はバリアブルバルブ612によって調節される。なお、シャワープレート611を用いず、マイクロ波透過窓66の下面の周辺等にガス吹き出し口を設けても同様な効果が得られる。

【0039】次に、マグネトロン61から発振した、この場合、2.45GHzのマイクロ波は矩形の導波管62、円矩形変換導波管63を経由し、円筒空洞部64内に導かれる。この場合、導波管62内は矩形 $TE_{10}$ モードのマイクロ波が伝播され、円矩形変換導波管63によって円形 $TE_{11}$ モードのマイクロ波に変換されて円筒空洞部64に導かれる。円筒空洞部64内に導入されたマイクロ波は、マイクロ波透過窓66、シャワープレート611を経て真空容器67内に導かれる。一方、真空容器67の周囲に設けられたソレノイドコイル65によって真空容器67の内部には、真空容器67の軸方向の磁界が形成される。真空容器67内に導入されたマイクロ波及びソレノイドコイル65による磁界の作用によって、プラズマ中の電子は磁界からローレンツ力を受けて旋回運動を行う。旋回運動の周期とマイクロ波の周波数がほぼ一致したとき、電子はマイクロ波から効率良くエネルギーを受け取り、電子サイクロトロン共鳴現象（Electron Cyclotron Resonance、以下「ECR」と略す。）によって密度の高いプラズマ15が生成される。本装置では、ECR条件を満たす等磁界面（以下「ECR面」と略す。）を真空容器67の内部に存在させる。この場合、ECR面における磁場の強さは875 Gaussである。これによって、真空容器67内に密度の高いプラズマ615を生成する。図4に破線で示したECR面152を示す。ECR面152は、主磁束用のソレノイドコイル651と制御用のソレノイドコイル652、653とによって、真空容器67内の所望の高さ位置に制御・調整される。なお、本実施例では、ソレノイドコイル65をヨーク65によって囲み、主磁束用のソレノイドコイル651の内周部までヨーク654を絞り込んでいるので、ソレノイドコイル65内に形成される磁界を軸方向に集中させ易く、制御用のソレノイドコイル652、653とによってECR面を容易に平坦かできると共に、ECR面の高さ位置が制御し易くなっている。また、この場合は、ヨーク654の上部端部を軸方向に折り返すことにより、軸方向への磁界の集中をさらに効率良く行なわせるようにしているが、ヨーク654の上部端部を軸方向に折り返さなくても十分に目的は達成される。

【0040】図6に円筒空洞部64に導かれたマイクロ波の様子を示す。円筒空洞部64に導かれたマイクロ波は、まず、円筒空洞部64及びマイクロ波透過窓66を介して真空容器67内に導かれ試料台68を反射端とし

て反射する定在波となったり、円筒空洞部64の天板641とマイクロ波透過窓66の上面または下面さらにはシャワープレート611との間で反射を繰り返す定在波になったりする。この間、真空容器67内に導入されたマイクロ波によって真空容器67内のプロセスガスが励起されプラズマ化される。なお、生成されたプラズマの密度が一定密度を越えた場合（有磁場条件の場合は、電子密度 $>1 \times 10^{11}$ 個/cm<sup>3</sup>）、該密度のプラズマ部分ではプラズマに入射されるマイクロ波の一部を反射するという特性がある。ECRを用いた放電では、プラズマ密度が前述したマイクロ波を反射する密度まで容易に高くなる。このため、プラズマ615の該密度の部分が境界面151となってマイクロ波の一部を反射し、円筒空洞部64の天板641とプラズマ615の境界面151との間で反射を繰り返し定在波cとなる。また、生成されたプラズマの密度が一定密度を越えた場合（有磁場条件の場合は、電子密度 $>1 \times 10^{11}$ 個/cm<sup>3</sup>）は、定在波cが支配的となる。

【0041】これを以下に説明する。なお、実際にはプラズマ615の境界面151はある厚みを有するが、以下、原理説明のため境界面151の厚みを無視して説明する。すなわち、円筒空洞部64の天板641からプラズマ615の境界面151までの距離（マイクロ波に対する等価距離： $L_0 = \int \sqrt{\epsilon_r} dx$ （[0,1]の積分）、 $\epsilon_r$ ＝比誘電率、を用いる）が、あるモードの管内波長の1/2の整数倍となるとき、該モードは共振を起こして定在波として円筒空洞部64の天板641からプラズマ615の境界面151の間に存在することが可能となる。この定在波には円矩形変換導波管63から円筒空洞部64に新たに導入されたマイクロ波が重なり、定在波と管内波長の等しいモードのマイクロ波が、定在波と共振してさらに強い電界の定在波となる。上記の条件を満たさないモードは減衰して円筒空洞部64の天板641からプラズマ615の境界面151の間に存在することができなくなる。

【0042】したがって、円筒空洞部64の高さを適切に選ぶことにより、共振してさらに強い電界となった特定の単一モードもしくは特定の複数のモードのマイクロ波を、マイクロ波透過窓66及びシャワープレート611を介して、円筒空洞部64内のモードのまま真空容器67に導くことが可能となる。これにより、プラズマが生成された後の不特定多数のモード間でのモードの遷移がなくなり、均一で安定な高密度のプラズマを発生させることができる。

【0043】この場合は、円筒空洞部64内に円矩形変換導波管63からTE<sub>11</sub>モードのマイクロ波を導く。拡大された内径の大きい円筒空洞部64内には、TE、TMの種々のモードのマイクロ波が存在し得るが、円矩形変換導波管63からTE<sub>11</sub>モードのマイクロ波を導入するようにしているの、基本的にTEのモードが生じ易

くなる。TEのモードとしては、TE<sub>11</sub>、TE<sub>21</sub>、TE<sub>01</sub>、TE<sub>31</sub>、TE<sub>41</sub>、TE<sub>12</sub>、TE<sub>61</sub>、TE<sub>22</sub>、TE<sub>02</sub>、TE<sub>61</sub>等が生じ得る。この場合、円筒空洞部64に導入するマイクロ波がTE<sub>11</sub>モードのマイクロ波であるため、TE<sub>11</sub>モードでの伝播割合が多くなる。円筒空洞部64内の大きさは、TE<sub>01</sub>モードの定在波cが形成されるように設定されている。これにより、円筒空洞部64内には、主体としてTE<sub>11</sub>モードおよびTE<sub>01</sub>モードのマイクロ波が伝播する。これら以外のモードは、位相のずれによってプラズマ615の境界面151で一部が反射されながら、新たに導入されるマイクロ波と打ち合い次第に減衰する。TE<sub>11</sub>モードのマイクロ波は中央部の電界強度が強く、TE<sub>01</sub>モードのマイクロ波は周辺部の電界強度が強いので、この二つのモードのマイクロ波が重なることにより、円筒空洞部64内に広い範囲にわたって電界強度が強く、略均一な電界強度のマイクロ波を伝播させることができる。これにより、真空容器67内に均一で安定な高密度のプラズマを発生させることができる。

【0044】なお、このとき、円筒空洞部64と真空容器67との内径をほぼ同径にすることにより、円筒空洞部64の天板641からプラズマ615の境界面615までの空間に至るまで極端な内径の誤差がなく、円筒空洞部64を伝播するモードのマイクロ波をそのまま真空容器67に伝播させることができる。したがって、基本的には、円筒空洞部64と真空容器67との内径は同一であることが好ましいが、本装置ではマイクロ波透過窓66の取り付け等設計上の制約により多少真空容器67の内径を小さくしている。ちなみに、円筒空洞部64に比べ真空容器67の内径を少し小さくした理由は、シャワープレート611及びマイクロ波透過窓66の取り付け方にあり、特に、円筒空洞部64が大気圧側で真空容器67が負圧側になるので、この圧力差を利用してマイクロ波透過窓66を真空容器67上端部に押し付け、真空容器67内部を気密に保持するためである。

【0045】また、本実施例では、真空容器67の内径を軸方向に等しくしているが、図7に示すようにプラズマ615の境界面151部が少なくとも円筒空洞部64と略同径になるようにしておけば、それから下方の内径を徐々に変えても同様の効果が得られる。この場合、内径を徐々に拡大し試料台68の部分で必要な大きさにすることによって、円筒空洞部の大きさを小さくすることができ、ソレノイドコイル65を含めた全体を小型化するのに効果がある。

【0046】次に、本装置構成を用いたときのプラズマ性能を図8から図15により説明する。本装置構成のプラズマ性能を調べるための装置構成として、円筒空洞部64の直径を405mm、高さ(L1)を0～160mmの可変とした。またマイクロ波透過窓66の直径を404mm、真空容器67の直径を350mm、マイクロ波

透過窓 6 6 の下面と試料台 6 8 の上面との距離を 17.5 mm とした。

【0047】なお、以下に述べるプラズマ性能の傾向は上述した装置の寸法に限定されるものではない。すなわち、マイクロ波プラズマを用いて試料を処理する場合、マイクロ波透過窓をマイクロ波の進行方向に対して略垂直に配置し真空容器内の略全面にマイクロ波を透過させるようにし、マイクロ波を円筒空洞部を介して円筒空洞部と略同径の真空容器内に導入するようにすれば、上述した装置の寸法に限定されることなく共通して有する性質である。

【0048】図 8 に、円筒空洞部 6 4 の高さ (L1) を変化したときの試料に到達するイオン電流密度の大きさと均一性を示し、図 9 に、そのときのマイクロ波の反射波の挙動を示す。図 8 及び図 9 によると、円筒空洞部 4 の高さ寸法 (L1) を変化させることにより、飽和イオン電流密度の大きさ、均一性及びマイクロ波の反射波が変化することが判る。ここで図 8 において飽和イオン電流密度が大きく、且つ均一性が良好な円筒空洞部寸法 (L1) の条件 ( $1_1 \sim 1_2$  の範囲) を図 5 にあてはめると、反射波が 0 となる条件にも、最大となる条件にもなっておらず、両条件の中間部分、即ちある程度の反射波が生じている条件になっている。なお、このときの反射波は、導波管 6 3、6 2 を介してもドル反射波である。また、飽和イオン電流密度が大きく、且つ均一性が良好な円筒空洞部寸法 (L1) の条件 ( $1_1 \sim 1_2$  の範囲) は、飽和イオン電流密度及び均一性がピーク値でなく、ある程度広い範囲で許容できる範囲を設定している。ある程度の反射波が生じている円筒空洞部寸法 ( $1_1 \sim 1_2$  の範囲) のときは、マイクロ波は単一モードと言うよりは特定の複数モードの合成になっていると考えられる。なお、導波管 6 2 あるいは円矩変換導波管 6 3 の部分にスタブチューナ等の整合手段を設けることにより、図 8 において反射波の大きい円筒空洞部寸法 (L1) のときでも、マイクロ波を有効にプラズマに入力させることができる。

【0049】図 10 に、マイクロ波透過窓 6 6 と ECR 面との距離 (L2) を変えたときの円筒空洞部寸法 (L1) とイオン電流密度の均一性との関係を示す。図 10 を別観点で傾向的にまとめると図 11 に示すようになる。図 11 は、ECR 面と試料を搭載する試料台 6 8 との距離を一定として、マイクロ波透過窓 6 6 と ECR 面の距離を変化させたときの試料に到達する飽和イオン電流密度の大きさと均一性を示す。これらからマイクロ波透過窓 6 6 と ECR 面の距離 (L2) を離すに従って、飽和イオン電流密度分布の均一性が向上することが判る。また、別の実験によれば、飽和イオン電流密度の均一性を 10% 以下にするためには、マイクロ波透過窓 6 6 と ECR 面の距離を 50 mm 以上にする必要があることが判明した。

【0050】次に、図 12 に、ECR 面と試料を搭載す

る試料台との距離 (L3) を変えたときの円筒空洞部寸法 (L1) とイオン電流密度の均一性との関係を示す。図 12 を別観点で傾向的にまとめると図 13 に示すようになる。図 13 は、マイクロ波透過窓 6 6 と ECR 面の距離を一定として、ECR 面と試料を搭載する試料台 6 8 との距離を変化させたときの試料に到達する飽和イオン電流密度の大きさと均一性を示す。これらから ECR 面と試料を搭載する試料台 6 8 との距離を離すに従って飽和イオン電流密度分布の均一性が向上することが判る。また、別の実験によれば ECR 面と試料を搭載する試料台 6 8 との距離を 30 mm よりも小さくすると均一性が急に悪くなるため、飽和イオン電流密度分布の均一性を 10% 以下にするためには、ECR 面と試料を搭載する試料台 6 8 との距離を 30 mm 以上にする必要があることが判明した。

【0051】次に、図 14 に、磁場勾配を変えたときの空洞部寸法 (L1) と試料に到達するイオン電流密度の大きさ、イオン電流密度の均一性及び放電安定性を示す。なお、図 (a) はイオン電流密度の大きさを示し、図 (b) はイオン電流密度の均一性を示し、図 (c) は放電の安定性を示す。図 14 を別観点で傾向的にまとめると図 15 に示すようになる。図 15 は、ECR 面の中心における磁場勾配を変化させたときの試料に到達する飽和イオン電流密度の大きさと均一性を示す。これらから磁場勾配の値を変化させたとき、50 G/cm、40 G/cm、30 G/cm に設定した場合の放電安定性に大きな差は無い。しかし、20 G/cm に設定した場合は、やや放電が安定しない傾向が出はじめる。別の実験によれば、磁場勾配を 15 G/cm 以下に設定した場合、放電が安定しないことが判明した。また、図 15 から磁場勾配の値を上げていった場合、飽和イオン電流密度の試料内での平均値に大差は無いが、均一性が悪化する傾向がある。以上のことから、安定かつ均一な高密度のプラズマを得るためには、ECR 面の中心における磁場勾配の値を 20 G/cm 以上、50 G/cm 以下の範囲内に設定することが有効である。さらに均一なプラズマを得るには ECR を起こす条件を満たす等磁界面を試料の処理面に対して平行な略平坦面とする必要がある。

【0052】なお、図 4 に示すように、上段に設けた主磁束用のソレノイドコイル 6 5 1 の内径もしくはヨーク 6 5 4 の内径 (Dy) を、試料やマイクロ波透過窓 6 6 の直径より小さくすることにより、真空容器 6 7 の中心軸上の磁場強度を容易に強くすることができる。また、ソレノイドコイル 6 5 1 の磁束と合わせ、制御用のソレノイドコイル 6 5 2、6 5 3 の磁束を制御することにより、磁場勾配 20 G/cm 以上、50 G/cm 以下でかつ試料の表面に平行な面内で平坦な磁場を容易に得ることができる。また、上述のように磁場を制御するために、主磁束用のソレノイドコイル 6 5 1 と制御用のソレノイドコイル 6 5 2、6 5 3 とは、それぞれ大きな空隙

を設けることなく連続させて配置してある。また、真空容器67の直径としては、試料の直径に対して+50mm以上にすれば10%以下の均一性を確保することが可能であった。

【0053】また、上記のように構成された装置によって、試料台68に接続された高周波電源610によって、試料台68に配置された試料へのプラズマ中のイオンの入射エネルギーは、プラズマの生成とは独立に制御される。図示を省略した電力制御装置によってソレノイドコイル651、652及び653に流れる電流値を制御し、磁場勾配強度を変化させることによって、放電空間内に発生させる磁場のECR条件となる共鳴磁場分布（ECR面）を平面状にすることができ、プラズマ処理室となる真空容器67内の試料載置面からのプラズマ位置を移動させることができる。

【0054】ここで、試料を酸化膜の下地材で、被処理材がAl合金であり、ホトレジストをマスク材としたものとし、エッチングガスとして $\text{BCl}_3 + \text{Cl}_2$ を150 sccm供給し、処理圧力を12mTorrに保持して、マイクロ波電力を約1000Wとし、高周波電力を85Wとして、ソレノイドコイル651、652及び653に流れる電流値を制御し、試料載置面からのプラズマの位置を変化させたとき、プラズマの位置が試料から離れるにしたがい、試料の被処理材料のエッチング速度はあまり変化しないまま、マスク材および下地材のエッチング速度が速くなっている。また、試料台に生じるVpp値は、プラズマの位置が試料から離れるにしたがい大きくなる、すなわち、バイアス電圧が大きくなりプラズマ中のイオンの入射エネルギーが大きくなって、エッチング中の残渣が減少する傾向となる。

【0055】被処理材がAl合金の場合、Al合金のエッチング時は、残渣の発生しないプラズマの高さ位置に設定、すなわち、試料載置面からのプラズマ高さを小さくし、オーバエッチング時は、対下地材の選択比の高いプラズマの高さ位置に設定、すなわち、試料載置面からのプラズマ高さを高くすることで、これらを達成することができる。

【0056】また、被処理材が酸化膜（ $\text{SiO}_2$ ）を下地材とし、被処理材がTiN膜またはTiW膜の上にAl合金膜を積層した積層膜とし、ホトレジストをマスク材とした試料の場合、例えば、エッチングガスとして $\text{BCl}_3 + \text{Cl}_2$ または $\text{BCl}_3 + \text{CF}_4$ 等を用い、Al合金膜のエッチング中はプラズマの位置を近付けて残渣のないエッチングを行ない、TiN膜またはTiW膜のエッチング中はプラズマの位置を遠ざけてマスク材および下地材との選択比を大きくしたエッチングを行なう。なお、ここではAl合金膜のエッチング中はプラズマの位置を近付け、TiN膜またはTiW膜のエッチング中はプラズマの位置を遠ざけるようにしているが、エッチングガスの混合比および圧力等によってもプラズマ位置の

条件が異なるので、このケースに限られるものではない。

【0057】なお、上述は被処理材がAl合金及びTiN膜またはTiW膜の上にAl合金膜を積層した積層膜の場合であるが、被処理材がこれらの材料以外の場合においても処理を行なう被処理材の各材料に対するエッチング特性を把握することにより、有効なエッチング条件を見出すことができる。

【0058】また、上述ではソレノイドコイル65により磁場を制御してプラズマ位置を変えるようにしたが、試料台68を動かしてプラズマとの間隔を変化させるようにしても同様の効果がある。

【0059】このように、本実施例の装置では、ソレノイドコイル65によって形成する磁場を、ECR面の高さ、形状、磁束密度の勾配等広い範囲で制御でき、また、電極である試料台68の高さを、例えば、レシピ設定して、試料への入射イオン電流密度を試料台の高さによっても制御できるので、材料毎にイオン電流密度を変えることができ、材料に合わせたエッチング等の最適なプラズマ処理ができる。

【0060】さらに、上記のように構成された装置では、ターボ分子ポンプ613を主ポンプとして使用し、排気経路を大型化して、高速排気を可能としている。ちなみに、ターボ分子ポンプ613の排気速度は2000 l/sで、試料台68の試料配置部の実効排気速度は約900 l/s（N換算）である。高速排気については、例えば、特開平5-259119に高速排気の有用性について述べている。この考え方によれば、ポリシリコンのエッチングにおいては、プラズマ密度を大きく保ち、エッチャントの供給律速にならないように高排気速度で低圧力を維持しつつ、反応ガスを十分供給してシリコンのエッチング速度を大きくすることができる。

【0061】この際、イオンの加速エネルギーを低く保つことにより、下地材料のエッチング速度を小さくして選択比を増大させることが可能となる。ところで、このような高速排気によった条件下では、反応生成物の濃度が低下するために形状制御性（マスク材料に忠実に垂直加工形状を得ること）が難しくなる。このために何らかの形状制御性を向上させる手段が必要となる。そこで、エッチャントである塩素ガスに酸素を添加し、さらに試料を冷却してエッチングする。

【0062】これにより、高速排気の条件下（250 ml/分以上）では従来の酸素添加量よりもより小さな領域（1.5%以下）で、合わせて試料を低温（試料温度を0℃以下）に保持することにより、試料温度を室温とした処理時に得られるエッチング速度より大きなエッチング速度を得ることができる。これにより、従来よりも生産性を向上させることができる。

【0063】これは、従来のエッチング装置においては、プラズマ密度が十分でなく、エネルギー律速となつ

ていたり、排気性能が十分でなくエCHANTの供給律速となっていたりすることが多く、かならずしもシリコンのエッチング速度を大きくすることができなかった。高密度のプラズマを維持しつつ、高速排気をし、合わせて試料を低温にすることで、従来以上のエッチャントをシリコン表面に吸着させ、酸素添加による化学反応平衡の適正化により、エッチング速度を大きくすることができたと考えられる。一方、シリコン酸化膜のほうは試料温度が $-100^{\circ}\text{C}$ を下回るような非常に低温の領域で初めて反応を抑制できることが知られており、エッチング速度に対しての低温化による抑制効果はないものと考えられる。むしろ、酸化膜表面への過剰酸素の供給による化学的エッチング抑制( $\text{Si}-\text{O}$ の再結合等)が支配的と考えられる。

【0064】また、真空処理装置67及びリングゲート15の内径を略同径にして処理室、この場合、エッチング室の形状をシンプル化し、真空容器67、リングゲート15及び試料台68を同心状に配置しており、また、高速排気を用いた装置構成としているので、処理室内面に凹凸がなく反応性生物等の堆積物が付着しにくく、ガス流れも均一でスムーズになり、プラズマ処理時に発生する反応生成物の堆積を防止することができ、総合的に経時変化の少ない装置とすることができる。また、ガス流れが均一になることから、プロセス性能の均一性の向上も図れる。

【0065】次に、本発明のプラズマ処理装置の第2の実施例を図16に示す。本実施例はプラズマを生成する手段としてマイクロ波のみを利用した例である。本図において図4と同符号は同一部材を示し説明を省略するとともに、共通の構成部分の図示を省略する。

【0066】本実施例の装置は、真空容器67内に磁場を発生させるためのソレノイドコイルを有しておらず、円筒空洞部64を介して真空容器67内にマイクロ波のみを導入し、真空容器内のプロセスガスをプラズマ化する点で前記実施例と異なる。

【0067】本装置は磁場が無い場合、電子密度が $7 \times 10^{10}$ 個/ $\text{cm}^3$ を超えるとマイクロ波の一部が反射される。しかしながら、前記実施例の装置と同様に、マイクロ波の反射端がプラズマ616の境界面152となるため、磁場に起因する物理現象以外の作用は前記一実施例の場合と同じである。

【0068】以上説明したように、これら実施例によれば、プラズマ発生室である真空容器67のマイクロ波導入部に真空容器67の内径と略同径のマイクロ波透過窓66を設け、真空容器67の内径と略同径であって真空容器67内に生成されるプラズマのマイクロ波反射境界面との間で特定モードのマイクロ波を共振させる空洞部である円筒空洞部64をマイクロ波透過窓を介して真空容器67に隣接し、円筒空洞部64を介して真空容器67内の放電空間にマイクロ波を導入することにより、円

筒空洞部64を介して真空容器67内に導入されたマイクロ波によって真空容器67内にプラズマが生成される。プラズマの生成に伴ってプラズマに吸収されなかった円筒空洞部64からのマイクロ波がプラズマのマイクロ波反射境界面で反射される。反射されたマイクロ波が円筒空洞部64の反射端面である天板641でさらに反射され、プラズマのマイクロ波反射境界面と円筒空洞部64の反射端面との間で定在波として反射が繰り返されると共に、新たに入射されるマイクロ波と重なって共振状態になる。これにより、円筒空洞部64には特定モードのマイクロ波が形成され、プラズマに特定モードのマイクロ波の高いエネルギーが加わりプラズマを高密度化することができる。また、円筒空洞部64と放電空間とを略同径としてあるので円筒空洞部64とプラズマとの略等価な全反射面でマイクロ波が共振させられ、特定モードのマイクロ波をそのままプラズマに伝達させることができるので、電界の均一性の良い特定なモードのマイクロ波を共振させることにより、安定して均一性の良いプラズマを生成することができる。

【0069】また、マイクロ波によるプラズマの生成に、ソレノイドコイル65による磁界を作用させることにより、ECRを利用してさらに高密度のプラズマを生成することができる。

【0070】また、試料の処理室となる真空容器67を円筒形に構成することにより、任意の位置における軸方向の断面積が等しく、真空容器67内の軸方向においてECR面の位置を変化させても、ECR面の面積が変わることがなく、真空容器67内の軸方向の任意の位置でのプラズマを高密度均一にできる。すなわち、プラズマ状態を任意の位置で不変にすることができる。

【0071】また、マイクロ波のエネルギーをプラズマに伝達させるための空間となるECR面とマイクロ波導入用の石英平板でなるマイクロ波透過窓66との間の空間の距離を50mm以上とすることにより、生成されるプラズマを均一にすることができ、また、生成されたプラズマを拡散により拡げる空間となるECR面と被処理物である試料を搭載する試料台との間の空間の距離を30mm以上とすることにより、拡散の効果により試料台に搭載された試料に到達するプラズマを均一にして、イオン電流密度で10%以下の一様分布とすることができる。

【0072】さらに、ECR面における磁場勾配の値を20G/cm以上に設定することにより、磁場発生用のソレノイドコイルに流す電流のわずかな変動によってECR面の位置が大きく変動するのを抑えることができる。また、ECR面における磁場勾配の値を50G/cm以下の範囲内にすることにより、ECR面の厚さの減少が抑えられ、マイクロ波の強度分布がそのままプラズマ密度に反映するのを防止できるので、試料台に搭載された試料に到達するプラズマの不均一を防止でき、飽和

イオン電流密度の均一性の悪化を防止できる。

【0073】これらにより、被処理物の処理面に入力されるイオン電流密度を10%以下の一様分布とすることが可能であり、これによって8インチウエハ等の大口径の試料を均一にエッチングすることができる。

【0074】また、これら実施例の真空容器67の内壁面に絶縁物カバーを設けることにより、真空容器内でのプラズマによる金属汚染を防止することができるので、エネルギー分布の様なマイクロ波による均一なプラズマの生成とともに、8インチウエハ等の大口径の試料を均一に歩留まり良く処理することができる。

【0075】なお、以上の実施例では、マイクロ波（例えば2.45GHz）を用いて説明したが、何らこれに限定されるものではない。電磁波によってプラズマを発生させものであれば同様な効果が期待できる。

#### 【0076】

【発明の効果】本発明によれば、空洞部を介して放電空間にマイクロ波を導入し、放電空間に導入されたマイクロ波により放電空間内のガスをプラズマ化して、空洞部と略同径の放電空間内に生成されるプラズマのマイクロ波反射境界面と空洞部の反射端面との間で特定モードのマイクロ波を共振させることにより、マイクロ波を用いた高密度均一プラズマを生成することができるという効果がある。

【0077】また、プラズマ発生部に発生させられるプラズマのマイクロ波反射境界面と、プラズマ発生部のマイクロ波導入側に連結した空洞部のプラズマ対向端面との間で、空洞部に伝播されたマイクロ波に定在波を生じさせ、マイクロ波のエネルギーをプラズマに伝達することにより、マイクロ波を用いた高密度プラズマを生成することができるという効果がある。

【0078】また、プラズマ発生部に発生させられるプラズマのマイクロ波反射境界面と、プラズマ発生部のマイクロ波導入側に設けた空洞部のプラズマ対向端面との間で、空洞部に伝播されたマイクロ波を特定モードのマイクロ波とし反射を繰り返させ、特定モードのマイクロ波をそのままプラズマに伝達することにより、マイクロ波を用いた安定な均一プラズマを生成することができるという効果がある。

【0079】さらに、プラズマ発生室内に処理ガスを供給するとともに所定圧力に減圧排気し、マイクロ波を円筒空洞部に導き円筒空洞部内を伝播するマイクロ波をそのままプラズマ発生室に導入して、プラズマ発生室内の処理ガスをプラズマ化するとともに、プラズマ発生室内に生成されたプラズマとプラズマ発生室に対向する円筒空洞部の他端面との間でプラズマに吸収されなかったマイクロ波を特定モードで共振させるようにし、このようなマイクロ波によってプラズマ発生室内に発生させられたプラズマにより試料を処理することにより、試料直径8インチ以上の大口径化に対応し、試料の処理速度及び

均一処理の向上を図ることのできるという効果がある。

#### 【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の一実施例のプラズマ処理装置を搭載する真空処理装置の縦断面図である。

【図2】図1の装置のII-II平面構成図である。

【図3】図1の装置のIII-III平面断面図である。

【図4】図1の装置のIV-IV縦断面図で、本発明の一実施例のプラズマ処理装置の縦断面図である。

【図5】図4の装置におけるガス導入部の詳細を示す詳細図である。

【図6】図4の装置におけるプラズマ生成部の拡大図である。

【図7】プラズマ生成部の他の実施例を示す拡大図である。

【図8】図4の装置における円筒空洞部寸法（L1）を変化させたときの被処理物に到達するイオン電流密度の大きさおよび均一性を示した図である。

【図9】図4の装置における空洞部寸法（L1）を変化させたときのマイクロ波の反射波を示す図である。

【図10】図4の装置におけるマイクロ波導入用の石英平板とECR面との距離（L2）を変えたときの空洞部寸法（L1）とイオン電流密度の均一性との関係を示す図である。

【図11】図4の装置におけるマイクロ波導入用の石英平板とECR面との距離（L2）を変化させたときの被処理物に到達するイオン電流密度の大きさおよび均一性を示した図である。

【図12】図4の装置におけるECR面と被処理物を搭載する試料台との距離（L3）を変えたときの空洞部寸法（L1）とイオン電流密度の均一性との関係を示す図である。

【図13】図4の装置におけるECR面と被処理物を搭載する試料台との距離（L3）を変化させたときの被処理物に到達するイオン電流密度の大きさおよび均一性を示した図である。

【図14】図4の装置における磁場勾配を変えたときの空洞部寸法（L1）と被処理物に到達するイオン電流密度の大きさ、イオン電流密度の均一性および放電安定性を示す図であり、（a）はイオン電流密度の大きさを示す図であり、（b）はイオン電流密度の均一性を示す図であり、（c）は放電の安定性を示す図である。

【図15】図4の装置における磁場勾配を変化させたときの被処理物に到達するイオン電流密度の大きさおよび均一性を示した図である。

【図16】本発明の他の実施例のプラズマ処理装置の縦断面図である。

【図17】従来のマイクロ波プラズマエッチング装置の構成図である。

#### 【符号の説明】

61…マグネトロン、62…導波管、63…円矩形変換

25

26

導波管、64…円筒空洞部、65…ソレノイドコイル、  
66…マイクロ波透過窓、67…真空容器、68…試料  
台、610…高周波電源、611…シャワープレート、\*

\* 613…ターボ分子ポンプ、615…高密度プラズマ、  
151…境界面。

【図 1】

【図 6】

図 1

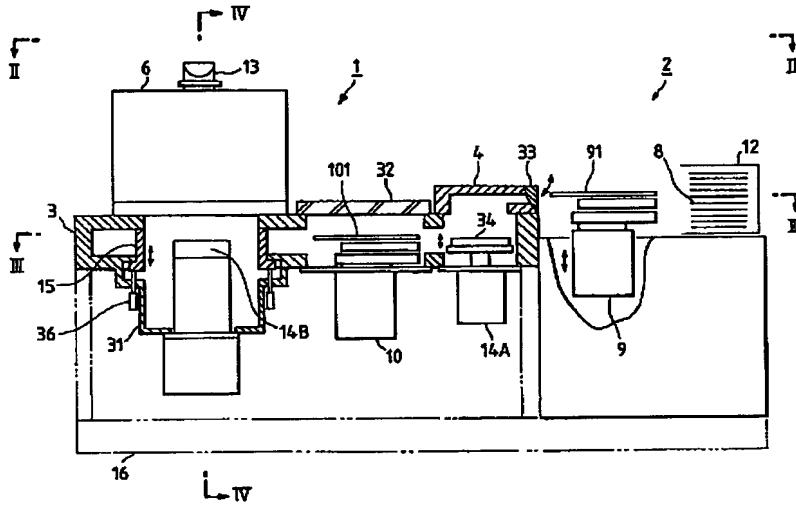
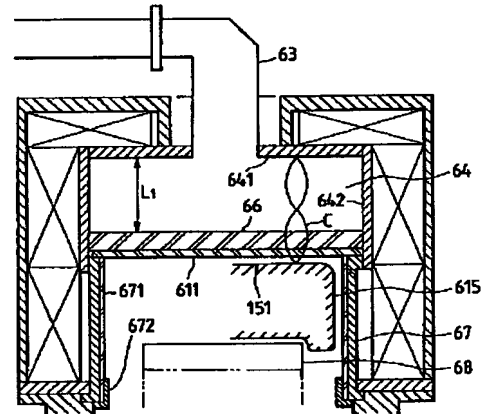


図 6



【図 2】

【図 7】

図 2

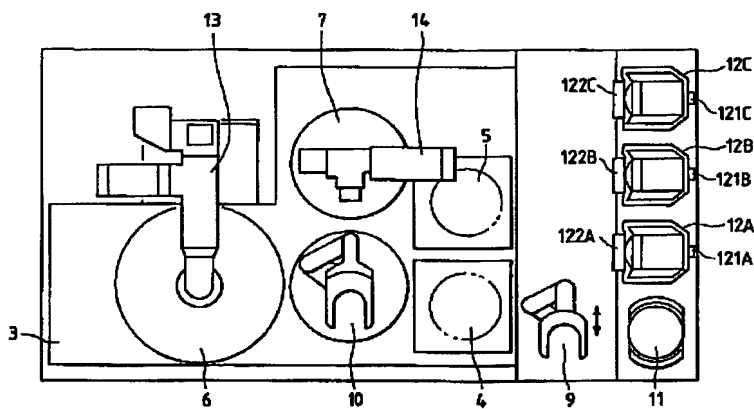
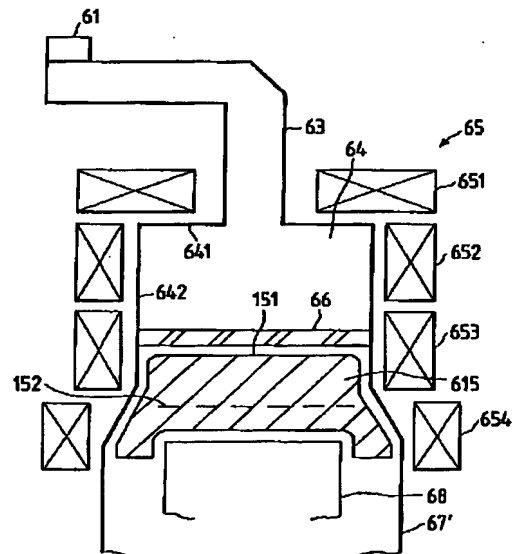
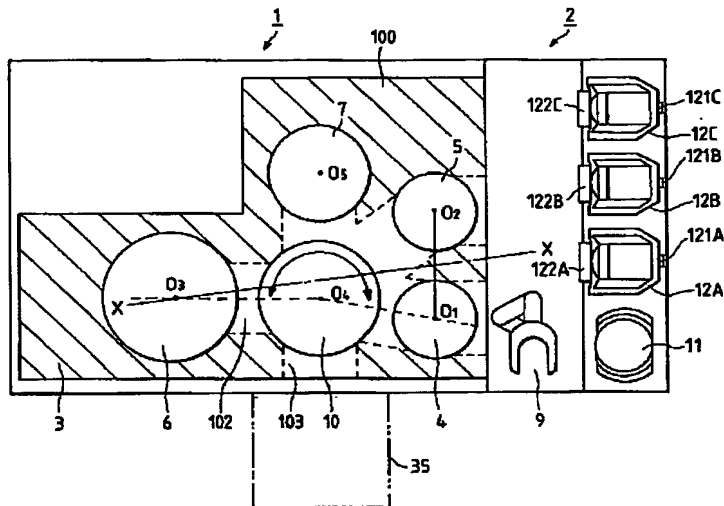


図 7



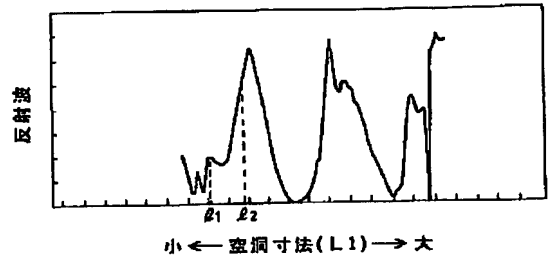
【図3】

図3



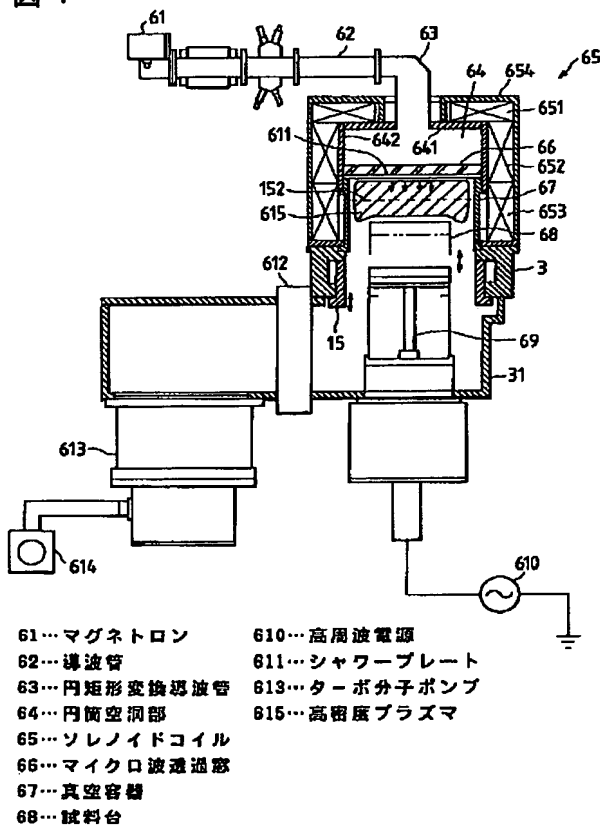
【図9】

図9



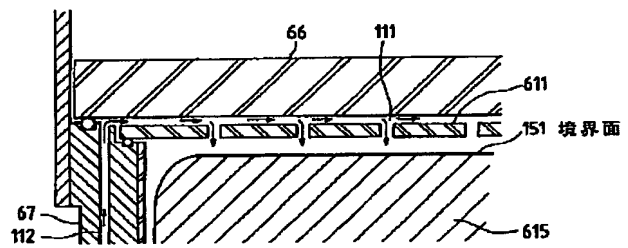
【図4】

図4



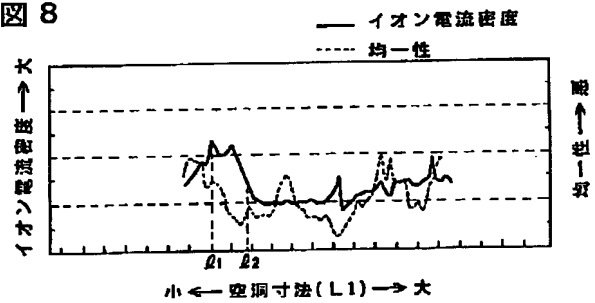
【図5】

図5



【図8】

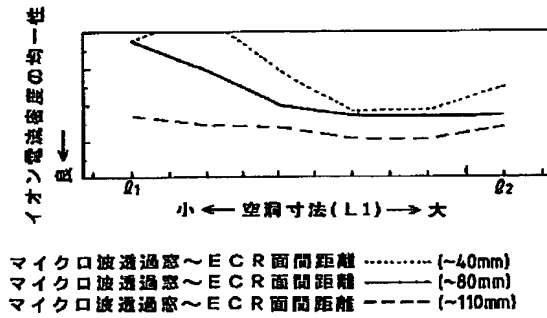
図8





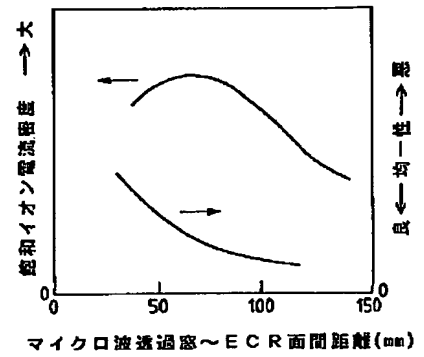
【図10】

図10



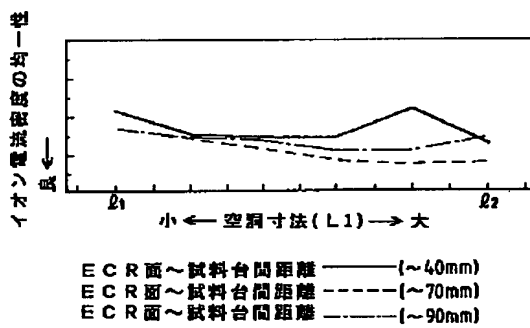
【図11】

図11



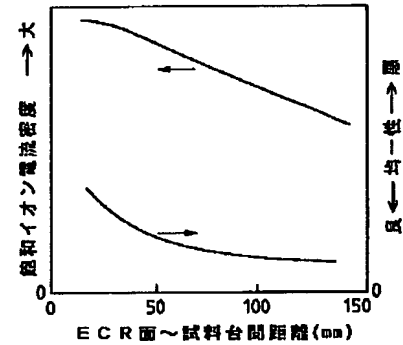
【図12】

図12



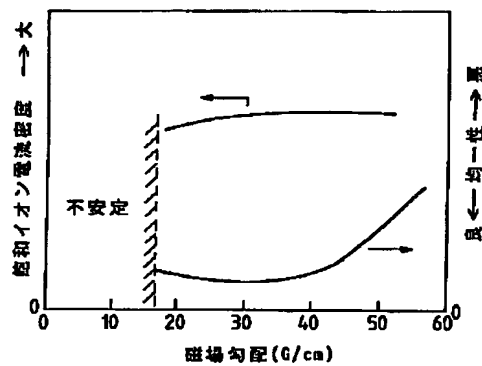
【図13】

図13



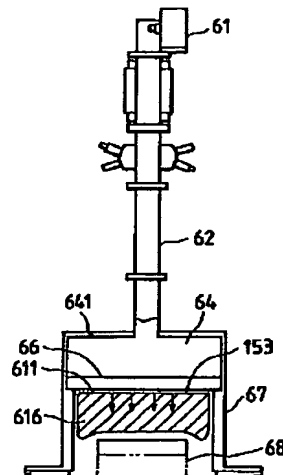
【図15】

図15



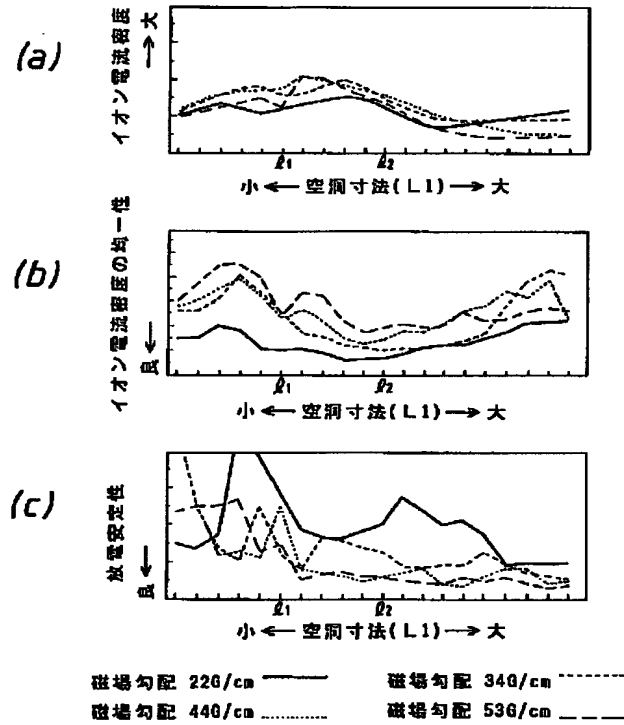
【図16】

図16



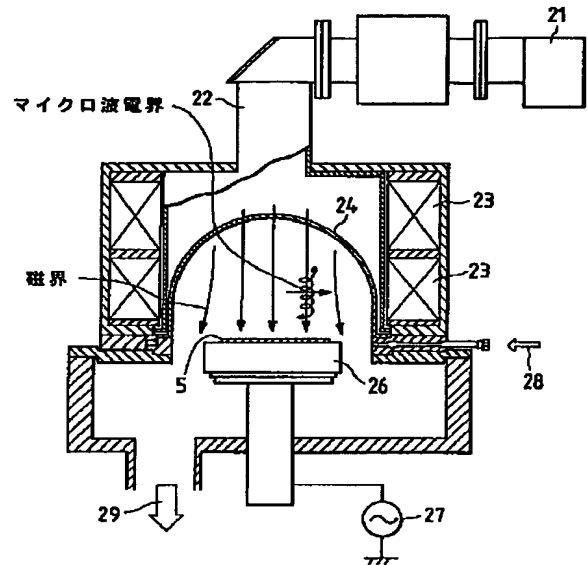
【図14】

図14



【図17】

図17



フロントページの続き

(72)発明者 中田 健二  
 山口県下松市大字東豊井794番地 株式会  
 社日立製作所笠戸工場内  
 (72)発明者 七田 弘之  
 山口県下松市大字東豊井794番地 株式会  
 社日立製作所笠戸工場内

(72)発明者 渡辺 成一  
 茨城県土浦市神立町502番地 株式会社日  
 立製作所機械研究所内  
 (72)発明者 奥平 定之  
 東京都青梅市今井町2326番地 株式会社日  
 立製作所デバイス開発センタ内  
 (72)発明者 鈴木 敬三  
 東京都国分寺市東恋ヶ窪一丁目280番地  
 株式会社日立製作所中央研究所内